

论控矿断裂力学性质判析的若干问题

张寿庭 李忠权

(成都理工学院地质学系)

摘要 自然界绝大多数控矿断裂均具明显的多期活动特征,对其多期活动性及其力学性质的研究,尤其是成矿期力学性质的判析,是控矿构造区域应力场分析和构造控矿规律研究的关键所在。本文就控矿断裂力学性质研究中常用的却又易产生误判的若干判析标志,进行初步分析和探讨。

关键词 控矿断裂 断裂力学性质

0 引言

对构造形迹力学性质的分类、鉴定、研究方法,以及多期活动与力学性质转化等,构造地质学界,尤其是国内地质力学的众多学者作过大量的研究,并在其论著中有较系统的阐述^[1,4]。随着地质理论研究和生产实践的不断深入,构造多期活动及其力学性质演变的成因机理、力学机制、研究方法等问题,受到构造地质学界的重视。宁崇质等曾阐述先压后张断层的成因意义^[2];刘志刚等从理论和实验两方面论述了断裂多期活动的必然性,并提出相应的研究方法、途径和意义等等^[3]。

自然界绝大多数控矿断裂均具明显的多期活动特征,然而,人们在研究和生产实践中,对控矿断裂多期活动的力学性质的鉴定,尤其对成矿期断裂力学性质的判析,仍存在不少疑难,甚至也会出现误判。本文就控矿断裂力学性质研究中,常用却又易产生误判的若干标志进行分析和讨论。

1 控矿断裂力学性质及其演变特征

在地质力学中,把断裂的力学性质分为压性、张性、扭性、压扭性、张扭性等基本类型,对多期活动的断裂,可按活动先后力学性质特征描述为先张后压、先压后张、先扭后压、先压扭后张扭再压扭……等众多类型;按断裂与成矿关系,又可分为成矿前、成矿期和成矿后断裂等等。然而,就断裂力学性质及其演变而言,可从断裂活动的时间、力学机理及影响因素,将断裂归纳为三大类:第一类是由区域构造应力场的改变,使断裂呈现多期活动,即同一构造的多期复合叠加活动。周济元称这类构造为复性构造,它也是构造体系复合中的常见现象。第二类是指在同一区域应力场持续作用下,同一构造的递进变形产物,亦即不同序次构造形迹力学性质转化

的产物。第三类是指在同一区域应力场中,同一构造不同部位因产状及变形边界条件的改变等,导致该断裂不同部位变形特征和力学性质的差异和变化

对控矿断裂力学性质及其变化特征的研究,大体包含如下内容:

- (1)时间与空间——断裂活动的多期性以及构造不同部位力学性质的多变性。
- (2)构造与组成——构造变形特征以及相应的构造岩、岩矿组构和矿化组分特征
- (3)受力条件与影响因素——应力性质、受力方式以及影响构造变形的边界条件等。

2 控矿断裂力学性质判析中若干问题讨论

对单性构造面和复性构造面的力学性质鉴定,以及对成矿前、成矿期和成矿后构造的判析,在地质力学和矿田构造学等相关论著中,均有较详细的论述。下面仅就有关问题尤其是实际研究中,易出现误判的现象进行分析和讨论。

2.1 矿体形态、产状及其厚度变化特征分析

矿体的形态、产状及其空间展布变化特征(尤其是热液充填型矿脉),客观上取决于控矿构造的力学特征和赋矿构造的空间展布。随着控矿断裂力学性质、变形特征的差异,相应决定了矿脉(体)的脉壁形态、延伸规模、脉体组合、空间展布等方面的变化^[4]。此外,人们在以往研究中,通常还利用矿脉在剖面上不同部位的厚度变化规律来判析控矿断裂的力学性质,并在不少论著中都有这样的论述——张(扭)性控矿断裂,在产状变陡地段矿体厚度大;压(扭)性控矿断裂,则在产状变缓地段矿体厚度大。对此,作者等通过野外实践工作认识到,在分析断裂力学性质,产状变化和矿脉厚度三者之间关系时,必须综合考虑控矿断裂的位移量。对于一先存的波状弯曲的断裂面(带),当其两盘发生位移时,必然产生赋矿空间(矿体厚度)在平、剖面上的膨缩变化,而这种变化规律,则取决于先存断面形态、产状、两盘位错方向和相对位移大小(图1)。并有如下关系:

(1)当成矿期示上盘上冲、下盘下降的逆断层(或压性断裂)叠加活动特征时,则:

当 $nL < S < (n + \frac{1}{2})L$ 时,示陡窄缓宽(如图 1a);当 $(n + \frac{1}{2})L < S < (n + 1)L$ 时,示陡宽缓窄(如图 1b)。其中, n 为 $0 + \infty$ 的整数, L 为先存弧形断面的波长, S 为两盘相对位移量。

(2)当成矿期示正断层(或张性断裂)叠加活动时,则出现与上述相反的变化特征。即:

当 $nL < S < (n + \frac{1}{2})L$ 时,陡宽缓窄(如图 1c);当 $(n + \frac{1}{2})L < S < (n + 1)L$ 时,陡窄缓宽(如图 1d)。

由上可见,矿脉宽度在剖面上的宽窄变化与断裂性质之间并无对应关系,只有综合分析断裂两盘活动性质、先存断面形态、产状和矿脉厚度变化之间的关系,才能给出合理、可靠的结论。

2.2 构造岩及矿石组构特征分析

构造岩及矿石组构的发育特征与控矿断裂的力学性质、变形特征密切相关,不同受力方式形成的构造岩特征不同。由此可用来鉴别断裂的不同力学性质,这在相关论著中均有阐述。然而,在实际工作中,利用构造岩及矿石组构特征来判析控矿断裂力学性质时,不应简单行事。如,在有些论著中把“形态不规则、棱角尖锐、大小不均、杂乱无章的构造角砾”和相应的角砾状矿石,以及“矿体中对称条带状、梳状、放射状矿石组构”等特征,都作为控矿断裂示张(扭)性力学性质的判别标志。对此,作者等曾通过对众多不同力学性质控矿断裂的观察研究表明,多期

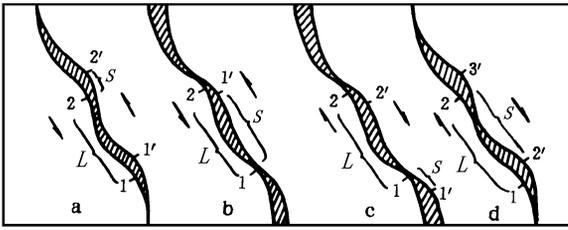


图 1 控矿断裂活动性质、产状、位移与矿脉厚度变化关系

Fig. 1 Relationship among vein thickness and active property, occurrence and displacement of ore-controlling faults

叠加活动的复性构造带中,其构造岩的特征通常是复杂多变的;即使单性构造,也常见在压(扭)性断裂带中发育所谓的形态不规则、棱角分明、大小不均、排列无序的构造角砾,以及相应的角砾状矿石和对称条带状、梳状、放射状矿石组构等。这在浅成低温热液充填型矿床中更为常见。究其原因,一方面,是由于在地壳浅部的控矿断裂以脆性变形为主,破裂岩、碎裂岩与角砾岩发育,并多呈棱角状和次棱角状;另一方面,即使在较强烈变形的压(扭)性断裂带中,由于控矿断裂不同部位产状的改变,可

导致局部构造应力—应变性质的差异变化,并产生局部引张区。研究表明,压(扭)性控矿断裂带中,这种棱角状角砾主要发育于主矿体的膨大部位——也即压(扭)性断裂带因产状改变而产生的局部引张空间(图 2)。在这种相对引张的局部应力环境下,矿液的充填作用以及矿液内压力作用表现相对强烈,当矿液沿原挤压(压扭)性构造透镜体、角砾岩内部的(显)微裂隙充填、扩张时,可进一步促进次一级的大小不等、棱角分明、排列不定的角砾的形成,并且,此期的矿液可充当这种角砾的“保护膜”作用,使其棱角得以保存。另外,对压性(压扭性)控矿断裂带中的构造角砾的空间分布发育特征进行系统观察,通常可以发现:在矿体膨大部位棱角状角砾及相应角砾状矿石发育,而往主矿体顶底板以及沿走向、倾向矿体狭缩地段,压(压扭)性构造透镜体渐趋发育,且定向特征明显。

由上可见,利用构造角砾岩及相关矿石组构特征,在判析控矿断裂力学性质时,必须要对控矿断裂带(及矿体)空间不同部位进行系统研究,注意分析控矿断裂局部应力—应变特征,重视构造角砾岩等的时空变化规律。

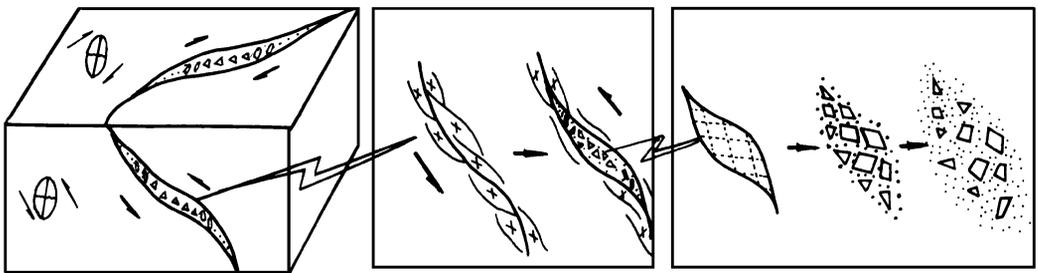


图 2 控矿断裂不同部位构造应力—应变与构造角砾发育特征

Fig. 2 Characteristics of tectonic breccia and structural stress-strain of different locations of ore-controlling faults

2.3 断裂位移痕迹和判析标志分析

断裂位移痕迹最直接的判别标志,主要有擦痕和断裂两盘相对应地质体(地质界线等)的相对位错标志。然而,对于多期活动控矿断裂,现今可见的两盘位错标志(断层效应)应属多期

活动的综合产物。实际上,单纯利用其两侧的地层上下位错关系,并不能确定其成矿期的活动性质。例如:现今人们常见的“反转构造”,即为典型例子。如图 3 所示,某控矿断裂两侧地质体位错特征示该断裂为一“张性正断层”,但实际上是由成矿前的正断层性质活动和成矿期的逆断层性质活动所致,因前者断距明显大于后者,所以现今所见断层效应与成矿期的活动性质并不一致。

断裂带中断面上的擦痕、阶步,是判析断盘在空间的相对位移和力学性质的重要标志。然而,对多期活动明显的控矿断裂,通常其擦痕也是多期、多方向复杂多变的。通常认为:在矿体(脉)内部破碎及破裂面上的擦痕可揭示其成矿后的活动性质;在多期不同方向擦痕中,被切割者为早期产物,穿切者属晚期产物。此外,对擦痕的研究尚应注意如下几方面问题:

(1)断裂带中同期活动的擦痕也可以是多变的,可能发育指示活动方向不同的擦痕,这是由断裂带内产状及局部受力条件和应力—应变特征的改变所致(如图 4)。因此,不能把局部现象与整体活动特征并论,更不能把这种变化与控矿断裂的多期活动相混淆。

(2)控矿断裂带内,尤其在主矿体的顶底板,通常人们常见的实际上并非狭义的“擦痕”,而是有成矿期矿液(薄膜状)或矿化组分覆盖的“擦痕印膜”。它们指示成矿期或成矿前的活动产物。实践表明,对一先存断裂带成矿期再活动时指示成矿前和成矿期活动特征的擦痕的发育程度,与二者的力学性质和构造活动强度密切相关。但当二者活动强度相当的情况下,通常在主矿体近侧成矿期活动产物相对发育,而往两侧破碎带,则示成矿前活动产物相对发育,究其原因,可能与构造变形前提条件及应力分布(集中与释放)特征等相关。

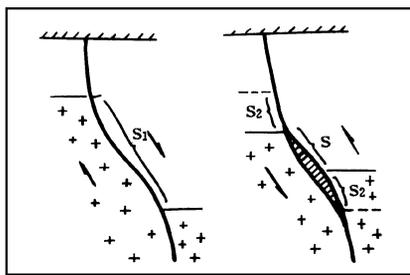


图 3 断裂的多期活动特征与断层效应关系

Fig. 3 Relationship of fault displacement effect and fault multiphase activity

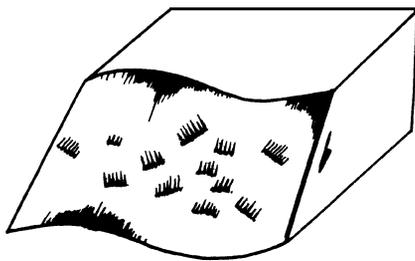


图 4 不规则断面上擦痕变化特征

Fig. 4 Variations of scratches on irregular fault plane

2.4 矿化组分及显微构造特征分析

众多的研究成果表明,矿化组分及其显微构造特征都与应力作用和应力性质等密切相关。一般说,挤压断裂和深位断裂处于高温、高压、相对封闭的还原环境,稳定性高的元素相对富集,易形成高硫、低氧型矿床;相反,张性断裂和浅位断裂处于低温、低压和相对开放的氧化环境,较活动的元素相对富集,易形成低硫、高氧型矿床^[5]。另外,通常在断裂带内出现一些与断裂性质及应力特征关系密切的应力矿物,如:硬绿泥石、蓝闪石、多硅白云母、针状金红石、旋转石榴子石等矿物,指示断裂性质一般为压—压扭性。凡断裂带内形成蓝闪石,可以认为断裂为压扭性(王嘉荫, 1978)。然而,在实际研究工作中,必须综合分析断裂构造性质在时间和空间上的变化。对控矿断裂而言,应当客观分析相关应力矿物与矿化组分之间的先后关系,弄清其属

成矿前、成矿期或成矿后产物;即便在研究矿化组分与控矿断裂成矿期活动性质的关系时,由于同一控矿断裂,在不同地段、不同深度上,其应力状态也往往不同,相应矿化组分特征也随之改变。如:压扭性控矿断裂,因断面产状的改变可产生局部的张—剪性应力区;同一性质的控矿断裂,浅部氧化较强,随深度增加,还原性增强;因此,在压(压扭)性控矿断裂的局部引张区段及浅部易集中亲氧性矿化组分,而在相对强挤压(压扭)区段及断裂深部,乃至控矿断裂带整体是以亲硫元素相对富集为特征的。

另外,在分析研究显微构造、应力矿物与控矿断裂力学性质关系时,也应充分考虑它们的时空变化特征。如:岩石、矿物内常见的变形纹、变形条带、变形双晶、压力影、沙钟构造以及矿物在光性、电性和磁性等方面的变化等;它们都与一定的应力性质、大小和方向密切相关,根据它们在控矿断裂带内的分布特征及其与断面的关系,可揭示断裂的力学性质。但是,倘若上述现象在矿化带(体)内明显发育,则多属成矿晚期或成矿后的产物,并非揭示控矿断裂在主成矿期的力学性质。

3 结 语

综上所述,可得出如下认识:

(1)自然界断裂构造的多期活动,为一客观存在的普遍现象。对多期活动控矿断裂的力学性质及其演变特征的研究,需要从时间和空间两方面进行综合分析。既要重视不同时期断裂力学性质的演变——多期性,又要注重同期不同构造部位应力—应变特征和力学性质的差异——多变性。并且,要把局部构造变形与控矿断裂的整体活动特征、力学性质作统一的客观分析。

(2)对多期活动控矿断裂力学性质的鉴定,需要从宏观和微观两方面进行综合研究,把构造变形、显微结构及矿化组分特征与构造的力学性质、应力—应变状态相结合,多方面互为检验,避免单一标志认识的片面性。

(3)随着地质科学的不断发展,近些年来,从构造角度来研究地球化学,以及从地球化学角度来研究构造作用——即构造地球化学研究,已被众多学者重视。因此,在控矿断裂成矿期构造力学性质、变形规律研究中,加强对不同构造过程和不同构造力学性质作用下成矿元素及其同位素的地球化学行为、活动规律的研究,无疑是十分重要和颇具理论意义的课题。

参 考 文 献

- 1 李四光,地质力学概论. 北京: 科学出版社, 1972
- 2 宁崇质, 王化锐, 一些先压后张断层的成因与研究意义. 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 第 15号, 北京: 地质出版社, 1993, 63- 69
- 3 刘志刚, 崔洪庆, 孙殿卿, 断裂多期活动及其研究意义. 地质力学学报, 1995, 1(1): 76- 80
- 4 李东旭, 周济元, 地质力学导论. 北京: 地质出版社, 1986 67- 82
- 5 杨国清, 构造地球化学. 桂林: 广西师范大学出版社, 1990 62- 66

A DISCUSSION ON IDENTIFICATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE ORE-CONTROLLING FAULTS

Zhang Shouting Li Zhongquan

(Dept. of Geosciences, Chengdu University of Technology)

Abstract In nature, the most of ore-controlling faults have experienced repeated movement. Identification of their activity and mechanical properties especially during mineralization, is the key to revealing the tectonic stress field and the structures leading to the control of the ores. This paper has a preliminary discussion of these problems.

Key words ore-controlling faults, mechanical properties of faults

第 一 作 者 简 介

张寿庭,男, 1964年生, 副教授, 主要从事地质力学、矿田构造和矿床学方面的研究工作。
通讯地址: 四川成都理工学院地质学系 邮政编码: 610059